

## PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI MAGNET *BONDED* BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DENGAN VARIASI UKURAN PARTIKEL

Ayu Yuswita Sari, Perdamean Sebayang dan Muljadi

Pusat Penelitian Fisika (P2F) - LIPI  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan  
e-mail: ayuy001@lipi.go.id

### ABSTRAK

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI MAGNET *BONDED* BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DENGAN VARIASI UKURAN PARTIKEL.** Telah dilakukan pembuatan magnet *bonded* BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi ukuran partikel yaitu : 74  $\mu\text{m}$ , 105  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 425  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  dan 850  $\mu\text{m}$ . Perbandingan BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan epoksi sebagai perekat/pengikat (*bond*) dibuat tetap yaitu 97 : 3 % berat. Pengujian tingkat kekeruhan dan *true density* dikaitkan korelasinya dengan ukuran butir partikel. Dari hasil pengujian diketahui bahwa Standar Deviasi (SD) tingkat kekeruhan serbuk magnet BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berbanding lurus dengan akar rata-rata diameter partikel. Nilai *true density* serbuk magnet BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berkisar antara 5,2 g/cm<sup>3</sup> hingga 5,6 g/cm<sup>3</sup>. Serbuk magnet tersebut kemudian dicetak menjadi pelet, dimagnetisasi, *dicuring* dan selanjutnya diukur sifat fisisnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa korelasi nilai densitas terhadap ukuran partikel adalah berbanding terbalik. Nilai densitas maksimum yang diperoleh adalah 3,12 g/cm<sup>3</sup> untuk serbuk magnet BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ukuran butir hingga 74  $\mu\text{m}$ . Untuk ukuran butir yang sama menunjukkan nilai kekerasan *HB* tertinggi yaitu 26 *HB* dan nilai induksi remanensi (Br) tertinggi sebesar 1,23 kG. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel tidak secara langsung meningkatkan kuat medan magnet yang dihasilkan.

**Kata kunci :** BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Kekeruhan, Densitas, Kekerasan *HB*, Sifat magnet.

### ABSTRACT

**PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> BONDED MAGNET WITH PARTICLE SIZE VARIATION.** Bonded magnets BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with various grain size i.e. 74, 105, 150, 300, 425, 600 and 850  $\mu\text{m}$  have been synthesized. Composition of BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and epoxy was fixed i.e. 97 : 3 in weight percent. Turbidity and true density test associated its correlation by grain size. The result shows that turbidity SD BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and the square root of average particle diameter have linear relationship. True density value of BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> around 5.2-5.6 g/cm<sup>3</sup>. This magnet powder molded cylindrical, magnetized, burned and then measured its physical properties. Correlation between density and grain size is inversely proportional. The maximum density is 3.12 g/cm<sup>3</sup> for BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> until size 74  $\mu\text{m}$ . At the same size have hardness brinell maximum 26 HB and inductance remance (Br) maximum 1.23 kG. The results of this study show that the smaller the particle size does not directly increase the magnetic field strength generated. This phenomenon needs to be seen again by linking the micro-structure correlation, homogeneity, and the improvement of the printing process with a strong magnetic field.

**Keywords :** BaO.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Turbidity, Density, Hardness brinell HB, Characteristic of magnet

### PENDAHULUAN

Magnet barium heksaferit (BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) memiliki karakteristik energi lebih rendah dibandingkan dengan magnet keras lainnya seperti NdFeB, SmCo dan Alnico. Namun karena bahannya melimpah dan harganya murah, didukung oleh sifat kimia yang stabil tahan korosi, suhu *Curie* (*T<sub>c</sub>*) yang tinggi, magnet barium heksaferit masih banyak digunakan secara luas di industri dan peralatan rumah tangga.

Magnet *bonded* memegang peranan penting dan selalu berkembang untuk penyediaan magnet permanen

secara komersial [1]. Pembuatan magnet *bonded* dapat disintesis melalui pencampuran antara serbuk magnet dengan bahan pengikat (*binder*) dengan komposisi tertentu. Bahan pengikat yang digunakan dapat berupa metal atau polimer [2]. Pada penelitian ini bahan pengikat yang digunakan adalah jenis polimer, yaitu resin epoksi, karena selain relatif lebih murah proses pencampurannya juga lebih mudah. Secara teori, semakin banyak komposisi resin epoksi maka porositas yang terbentuk akan semakin besar, sehingga mempengaruhi sifat intrinsik magnet.

Efek penambahan epoksi resin mengakibatkan nilai densitas, remanensi, koersivitas dan energi produk maksimum menjadi turun [3]. Dari hasil penelitian tersebut, komposisi optimum penambahan epoksi resin adalah 3 % berat[3].

Sifat-sifat kemagnetan magnet permanen dipengaruhi oleh kemurnian bahan, ukuran butir (*grain size*), kepadatan (densitas) dan orientasi dari kristal [4,5]. Serbuk magnet yang berukuran butir kecil dapat diidentifikasi dengan mengukur tingkat kekeruhannya. Tingkat kekeruhan suatu material menunjukkan banyaknya partikel yang terdispersi di dalam suatu cairan. Hal ini berarti semakin tinggi jumlah serbuk magnet yang terdispersi maka tingkat kekeruhannya akan semakin besar. Korelasi ukuran partikel berbanding lurus dengan fluktuasi tingkat kekeruhan yang terukur yang berarti semakin besar ukuran serbuk magnet maka tingkat kekeruhannya menjadi semakin tinggi [6]. Meskipun presisi metode ini tidak tinggi tetapi mempunyai kegunaan praktis, sedangkan akurasi pengukuran tergantung pada ukuran dan bentuk partikel. Jika tingkat kekeruhan serbuk magnet diketahui, maka ukuran butirnya dapat diprediksi.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan magnet *bonded* permanen berbasis  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan variasi ukuran. Presentase penambahan epoksi resin dibuat tetap yaitu sebesar 3 % berat. Bahan serbuk magnet  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  yang digunakan adalah serbuk magnet cacat dari PT. NEOMAX Cilegon. Pengaruh ukuran butir (lolos ayakan) terhadap tingkat kekeruhan, nilai densitas butir (*true density*), nilai densitas pelet (*bulk density*), nilai kekerasan (*HB*) dan juga terhadap sifat magnet menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini.

## METODE PERCOBAAN

Pada tahap awal bahan baku serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  digerus dengan menggunakan mortar kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran butir yang lebih kecil. Variasi ukuran butir serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah lolos ayakan 400 *mesh*, 200 *mesh*, 150 *mesh*, 100 *mesh*, 50 *mesh*, 40 *mesh*, 30 *mesh* dan 20 *mesh* atau ukuran masing-masing butir lebih kecil sama dengan dari 37  $\mu\text{m}$ , 74  $\mu\text{m}$ , 105  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 425  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  dan 850  $\mu\text{m}$ . Masing-masing variasi ukuran, ditimbang sebanyak 0,5 g dan 8 g. Serbuk magnet 0,5 g digunakan untuk pengukuran tingkat kekeruhan dan *true density*, sedangkan serbuk magnet 8 g digunakan untuk membuat pelet magnet *bonded*.

Pengukuran tingkat kekeruhan dilakukan dengan menggunakan alat Turbiditymeter Lutron model TU-2016. Sebanyak 0,5 g serbuk magnet dengan masing-masing ukuran dimasukkan ke dalam botol sampel kemudian ditambahkan 10 mL toluene. Botol sampel tersebut kemudian dikocok menggunakan *sonic cleaning* selama 1 menit agar serbuk dapat tercampur merata di dalam cairan. Data kekeruhan dilakukan sebanyak 40 data untuk

**Tabel 1.** Konversi Ukuran *Mesh* Terhadap Ukuran partikel

Ukuran Mesh	Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )
20 Mesh	< 850
30 Mesh	< 600
40 Mesh	< 425
50 Mesh	< 300
100 Mesh	< 150
150 Mesh	< 105
200 Mesh	< 74

setiap sampel dengan interval waktu selama 10 detik di dalam cairan toluene. Sedangkan pengukuran *true density* untuk serbuk magnet  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  menggunakan piknometer dengan medium etanol.

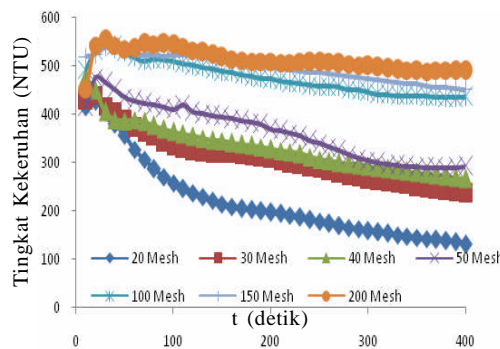
Sampel magnet *bonded* dibuat dengan mencampurkan 8 g  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan 3 % berat epoksi resin. Campuran kemudian dicetak menjadi pelet berbentuk *disc* ( $\phi = 2 \text{ cm}$ ). Pencetakan dilakukan secara *dry-pressing* dengan penekanan sebesar 100  $\text{kgf/cm}^2$  selama 1 menit. Kemudian pelet dimagnetisasi, dan dibakar dengan menggunakan oven. Suhu *curing* ditetapkan 250  $^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam. Proses pencetakan dilakukan tanpa pengaruh dari magnet luar karena proses magnetisasi terjadi setelah proses pencetakan.

Agar magnet terlihat mengkilat dan tidak berlumpur, pelet magnet yang telah jadi dilapisi *shelak*. Kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu rendah.

Karakterisasi pelet magnet *bonded* yang dilakukan meliputi uji densitas (*bulk density*), kekerasan (*HB*), dan sifat magnet (*BH-Curve*). Untuk analisis sifat magnet pelet  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  dilakukan dengan menggunakan alat Permagraph<sup>®</sup> C Dr. Steingroever GmbH yang berada di PPET-LIPI, Bandung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran tingkat kekeruhan untuk masing-masing variasi lolos ayakan terhadap waktu diperlihatkan pada Gambar 1. Pengambilan data yang dilakukan sebanyak 40 kali dengan interval waktu



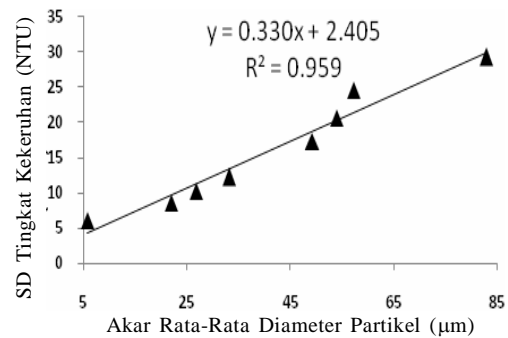
**Gambar 1.** Grafik Hubungan Tingkat Kekeruhan (NTU) Terhadap Waktu

10 detik, sehingga pengambilan data yang dilakukan sampai 400 detik.

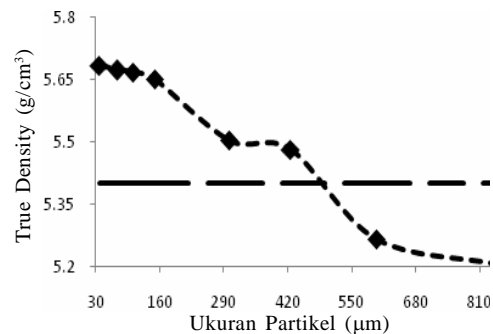
Dari Gambar 1 terlihat bahwa penurunan tingkat kekeruhan terhadap waktu disebabkan oleh gerak jatuh serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  pada cairan pendispersi, dalam hal ini toluena, sehingga sebagian partikel telah membentuk sedimentasi.

Dari grafik terlihat semakin besar ukuran serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  maka semakin cepat pula gerak jatuh partikel dan nilai kekeruhannya akan semakin kecil. Tingkat kekeruhan yang semakin tinggi menunjukkan bahwa serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  membutuhkan waktu yang lebih lama untuk turun dan mengendap di dasar. Waktu pengendapan ini ternyata memiliki korelasi yang berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Gambar 1 menunjukkan nilai optimum tingkat kekeruhan terjadi pada  $t = 10$  detik, di mana serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  berada dalam keadaan homogenisasi sedangkan pada  $t > 10$  detik terjadi sedimentasi serbuk atau endapan pada larutan pendispersi tersebut. Hal ini menyebabkan nilai kekeruhannya cenderung menurun. Secara umum semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar tingkat kekeruhan yang terukur. Sehingga dengan menggunakan hasil pengukuran ini dapat dibuktikan bahwa serbuk magnet  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  lolos ayakan 200 mesh memang memiliki ukuran partikel paling kecil dibandingkan variasi ukuran yang lain.

Hubungan antara ukuran partikel dengan fluktuasi tingkat kekeruhan dengan menggunakan analisis gambar. Korelasi antara standar deviasi (SD) tingkat kekeruhan dan akar rata-rata diameter untuk larutan tertentu adalah berbanding lurus dengan korelasi tersebut dengan korelasi antara ukuran partikel yang di kalkulasikan dari *image analysis* dengan ukuran partikel yang sebenarnya. Ternyata data SD tingkat kekeruhan secara proporsional linear terhadap akar rata-rata diameter suatu material yang berkelompok [6]. Data SD tingkat kekeruhan serbuk magnet  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan akar rata-rata diameter partikel diperlihatkan pada Gambar 2. Nilai regresi yang didapat adalah 0,959, sedangkan pada percobaan sebelumnya memiliki nilai regresi 0,995 [6]. Dapat diasumsikan hubungan antara SD tingkat kekeruhan terhadap akar rata-rata diameter partikel adalah berbanding lurus. Dengan meningkatnya ukuran partikel menunjukkan bahwa nilai tingkat kekeruhan cenderung naik. Nilai regresi dalam penelitian ini lebih kecil dari penelitian sebelumnya karena pengambilan data turbiditas yang dilakukan adalah setiap sepuluh detik selama 400 detik, jadi hanya 40 data untuk masing-masing ukuran partikel. Sedangkan dari referensi pengambilan data dilakukan setiap detik, selama sepuluh menit sehingga memperoleh 600 data [6]. Selain itu akar rata-rata diameter yang diambil adalah nilai diameter terbesar. Dalam penelitian ini tidak dilakukan *image analysis* sehingga ukuran partikel rata-rata tidak diketahui.



Gambar 2. Grafik hubungan Standar Deviasi Turbiditas Dengan Akar Rata-Rata Diameter Partikel



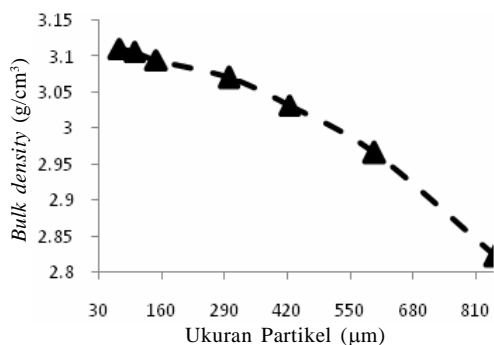
Gambar 3. Grafik Korelasi Antara True Density Dengan Ukuran Partikel

Partikel yang lebih besar memiliki standar deviasi kekeruhan yang lebih besar dibanding partikel yang lebih kecil. Hal ini karena partikel yang lebih besar lebih cepat jatuh ke bawah daripada partikel yang lebih kecil sehingga *range* antar nilai tingkat kekeruhan untuk partikel yang lebih besar juga lebih besar dibandingkan partikel dengan diameter lebih kecil. Hal ini menyebabkan partikel yang lebih besar memiliki nilai SD tingkat kekeruhan yang lebih besar.

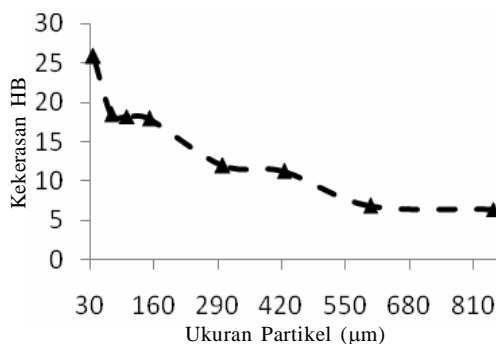
Semakin basar ukuran partikel maka nilai rata-rata kekeruhannya semakin kecil. Hal ini karena semakin besar ukuran partikel, maka cahaya yang dipancarkan oleh LED akan semakin banyak yang terabsorpsi dibandingkan dengan partikel dengan ukuran yang lebih kecil. Hal ini menyebabkan cahaya yang tersebar yang tertangkap oleh detektor semakin kecil, sehingga tingkat kekeruhannya juga semakin kecil.

Pada percobaan ini dilakukan dua uji densitas, yaitu *true density* dan *bulk density*. Gambar 3 menunjukkan bahwa korelasi *true density* terhadap ukuran partikel adalah cenderung berbanding terbalik, dengan nilai *true density* dalam penelitian ini berkisar antar  $5,2 \text{ g/cm}^3$  hingga  $5,6 \text{ g/cm}^3$ . Sehingga perbandingan serbuk  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan kemurnian bahan 99,5% memiliki nilai *true density*  $5,4 \text{ g/cm}^3$  [7].

Selain menghitung rapat massa butir atau *true density*, nilai rapat massa pelet atau *bulk density* juga dihitung. Pada Gambar 4 menunjukkan korelasi *bulk density* terhadap ukuran partikel. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai *bulk density* berkisar antara



**Gambar 4.** Grafik hubungan ukuran partikel dan bulk density



**Gambar 5.** Grafik Hubungan antara Kekerasan (HB) terhadap Ukuran partikel

2,82 g/cm<sup>3</sup> hingga 3,11 g/cm<sup>3</sup>. Selain itu korelasi antara bulk density dengan ukuran partikel juga berbanding terbalik. Semakin kecil ukuran serbuk  $BaO.6Fe_2O_3$  maka nilai bulk density cenderung naik. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran serbuk  $BaO.6Fe_2O_3$  maka kepadatan pelet juga semakin tinggi. Nilai densitas secara teori adalah 4,79 g/cm<sup>3</sup>. Perbedaan nilai yang ada kemungkinan besar terjadi karena adanya porositas. Suhu *curing* yang ditetapkan sebesar 250 °C menyebabkan porositas yang terbentuk pada pelet semakin banyak sehingga menurunkan nilai densitasnya. Nilai densitas maksimum yang diperoleh adalah serbuk magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  ukuran butir hingga 74 µm dengan nilai densitas 3,12 g/cm<sup>3</sup>.

Pada Gambar 5. menunjukkan korelasi kekerasan (HB) terhadap ukuran partikel adalah berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Penurunan kekerasan (HB) tersebut berkaitan dengan nilai bulk density. Pada keadaan volume konstan, sampel dengan ukuran partikel penyusun yang kecil akan memiliki jumlah partikel yang lebih banyak daripada ukuran partikel yang besar. Dengan demikian, sampel dengan ukuran partikel yang kecil akan lebih padat dan rongga atau pori dalam sampel tidak terlalu besar sehingga meningkatkan kekerasan dari sampel tersebut. Gambar 5 menunjukkan bahwa kekerasan HB maksimum terdapat pada komposisi serbuk magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  ukuran butir hingga 74 µm, dengan nilai kekerasan (HB) adalah 26. Ukuran butir serbuk magnet memegang peranan penting dalam kekerasan magnet bonded yang dihasilkan. Semakin

**Tabel 2.** Karakteristik Sifat Magnet Hasil Percobaan

Ukuran Mesh	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Br (kG)	Hc (kOe)	(BH)max (MGOe)
20	2,82	1,23	1,770	0,09
30	2,96	1,2	2,332	0,29
40	3,03	1,09	1,329	0,23
50	3,07	1,15	1,147	0,08
100	3,09	1,14	1,618	0,11
150	3,10	1,19	2,139	0,08
200	3,12	1,25	1,974	0,01

halus ukuran butir, maka semakin padat sampel magnet yang dihasilkan sehingga akan meningkatkan nilai kekerasan (HB). Dari referensi diketahui standar nilai *hardness* untuk magnet ferrite sinter adalah 480 HV [8] atau sebanding dengan 451 HB. Perbedaan yang sangat signifikan bisa jadi karena bahan dasar dari magnet ini merupakan bahan cacat, sehingga kualitas yang dihasilkan kurang memenuhi syarat. Selain itu magnet yang dibuat merupakan magnet bonded bukan magnet sintered.

Dari hasil pengukuran sifat-sifat magnet pelet menggunakan alat *permagaph*, diperoleh karakteristik magnet pada Tabel 2.

Dalam Tabel 2 tersebut terlihat bahwa perbedaan ukuran butir serbuk magnet yang digunakan menghasilkan perbedaan sifat magnet (Br, Hc dan BHmax). Ukuran serbuk magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  dengan ukuran butir paling kecil hingga 74 µm memiliki nilai remanensi maksimum, yaitu 1,25 kG. Sementara itu nilai remanensi paling kecil adalah 1,09 kG untuk ukuran butir hingga 425 µm. Sedangkan untuk ukuran butir paling besar yaitu 850 µm memiliki nilai remanensi 1,23 kG. Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum nilai remanensi yang dihasilkan tidak berkorelasi secara langsung dengan ukuran partikel. Hal ini terjadi karena ukuran partikel tidak secara langsung mengubah kuat medan magnet yang dihasilkan. Fenomena ini perlu dilihat lagi dengan mengkaitkan korelasi strukturmikro dengan kuat medan magnet. Homogenitas serbuk partikel yang digunakan juga berpengaruh terhadap sifat kemagnetan. Ukuran butir pelet cenderung tidak homogen. Namun karena faktor teknis yang tidak bisa dihindarkan hal ini belum bisa dilaksanakan. Selain itu kualitas magnet yang digunakan sangat berpengaruh.

## KESIMPULAN

Bahan komposit magnet bonded variasi ukuran  $BaO.6Fe_2O_3$  dengan pengikat resin epoksi telah berhasil dibuat dalam penelitian ini. Data Standar Deviasi tingkat kekerasan serbuk magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  memiliki korelasi berbanding lurus dengan akar rata-rata diameter. Korelasi

antara *true density* dengan ukuran partikel dan *bulk density* dengan ukuran partikel adalah berbanding terbalik. Semakin kecil ukuran partikel, maka kepadatannya akan semakin besar. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa hubungan antara *hardness* dengan ukuran partikel adalah juga berbanding terbalik. Nilai *hardness* tertinggi dicapai pada ukuran partikel hingga 74  $\mu\text{m}$  yaitu 26 HB. Nilai induksi remanen (Br) tertinggi yaitu 1,25 kG pada ukuran partikel hingga 74  $\mu\text{m}$ . Namun dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa sifat magnet yang dihasilkan tidak secara langsung berkorelasi dengan ukuran butir.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. D. PLUSA, M DOSPIAL, B. SLUSAREK, U. KOTLARCZYK and T. MYDLARZ, *Rev. Advance Mater Science*, **18** (2008) 541-544
- [2]. RIDWAN, dkk., Sifat-Sifat Magnet Bahan Komposit Karet alam Dengan  $\text{BaO.6Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$ , *Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet*, (2000) 72-76
- [3]. HERAWATI, *Pembuatan Bonded Magnet NDFeB Dengan Serbuk Epoxy Resin, Laporan Tugas Akhir*, ISTN Jakarta, (2011)
- [4]. M. J. SABLİK, *J. Appl. Phys.*, **89** (2001)5610
- [5]. M. J. SABLİK, *J. Appl. Phys.*, **89** (2001)7254
- [6]. WEN PO CHENG , RUEY FANG YU , YING JU HSIEH ,SHU YI WU , YU WEI HUANG ,SIN MING CHEN, *Prove The Relationship Between Particle Size And Turbidity Fluctuations By Image Analysis*, Hans Weghorn and Ajith P. Abraham, (2008) 170-172.